

고수분 돈분슬러리의 톱밥여과 퇴비화 현장적용 연구

류 종 원
상지대학교

A Practice-Oriented Study on Sawdust File Filtration Composting of High Moisture Pig Slurry

Ryoo, J. W.
Sangji University

Summary

This study was carried out to investigate the operating characteristics, water balance and chemical properties of compost during the composting with pig slurry on-farm trial. The composting plant with sawdust pile filtration was done in a forced aeration inside a house and equipped with a turning machine moving on a rails. The composting pit was 4.6m wide, 53m long and the maximum height was 2m. A field scale aerobic composting facility was tested the composting efficiency of high moisture pig slurry. The sawdust materials remained 6 months. Pig slurry was added to compost pile every other day during 6 months run. The temperature in compost pile and compost house, and input and output of moisture were measured during composting process. The result are summarized as follows;

1. The temperature of compost was varied in range of at 22.4°C~71.1°C. After turning, the composting temperature decreased to 50°C~36°C during 3~5 hours, and then raised to 64.5°C.
2. The temperature of compost house was maintained 20~30°C, and relative humidity was varied in range of 50~99%.
3. BOD, CODcr and SS of leachate water was reduced 89.5%, 81.2%, 97.5%, respectively.
4. The content of heavy metal in the final compost was lower those of Korea standards.
5. The amount of effluent was 10.2%. Total evaporation during composting period were 74.8%.

The amount of slurry per 1 m³ sawdust was 3.16 m³ without treatment of effluent output.

(Key words : Composting, Sawdust file filtration composting, High moisture, Pig slurry)

서 론

최근 많은 축산농가들이 생력화의 일환으로 분과 뇨가 혼합된 슬러리 형태의 축사를 설치하였다. 슬러리 축사의 분뇨혼합액은 국

토가 넓은 외국의 경우에는 액비화시켜 토지에 뿌리고 있으나 우리나라에서는 액비로 활용할 토지 면적이 많지 않은 실정이다. 따라서 액비를 살포할 농경지가 없는 축산농가에서는 퇴비화하여 이용하여야 하는데 함수율

본 연구는 한국축산환경협회 주관으로 농협중앙회의 연구비 지원으로 수행된 연구결과의 일부로서 이에 감사드립니다.

Corresponding author : Jong Won Ryoo, College of Life Science and Natural Resources, Sangji University, Wonju, 220-702, Korea, Tel : 082-33-730-0516, E-mail : jwryoo@sangji.ac.kr

이 95% 내외로 많은 수분을 보유하고 있는 슬러리를 퇴비화 하기 위해서는 수분조절제가 많이 소요되는 것이 단점으로 지적되고 있다(한과 박, 2000).

가축분뇨 처리는 수분을 어떻게 효율적이고 경제적으로 저감 시키느냐 하는 것이 처리의 핵심요인이다. 보통 경종농가 측면에서 퇴비화 처리에서 수분증발 개념 없이 퇴비를 제조하면 되지만 축산농가의 경우 퇴비화 과정 중 처리효율을 높이기 위해서는 수분증발을 극대화시키는 퇴비발효 시스템의 도입이 필요하다(Lichand T. S. and H. L. Choi 1997). 축산농가에서 축산분뇨 처리는 수분조절제의 절감, 처리효율 증진, 퇴비품질을 고려하여야 한다.

퇴비화에 영향을 미치는 요인은 온도, 수분 함량, O₂, C/N비, 분뇨의 유기물 함량, 교반, 송풍, 수분조절제 등이다. 기계식 퇴비화 시설에서 교반기체가 아무리 우수하여도 퇴비화를 위한 발효사의 지붕, 외벽, 퇴비사 높이, 침출수 배출시설, 송풍시설이 적절하지 않으면 퇴비화는 정상적으로 이루어지지 않는다.

퇴비화란 미생물의 활동결과 분뇨에 다량 함유된 유기물질을 적절한 조건을 유지시켜 신속히 무기물질로 변화시키는 과정이다(Iannotti 등, 1993; 김 등, 1996). 퇴비화의 진행정도는 축분별, 수분조절제의 종류, 투입량 및 환경조건 등에 따라 달라질 수 있다(Bagstam, 1979). 퇴비화에는 pH, 발효온도, 공기공급량 및 교반방법 등 여러 가지 요인이 작용하며 축분 퇴비화처리의 최적 부속 조건은 퇴비더미 내 온도가 최소 3일간 55~60℃ 정도를 유지하여야 하며 통기량은 퇴비더미 1 m³당 0.05~1.0 m³/min가 바람직하며 C/N비는 25~30, 수분 함량은 퇴비원료물의 입경에 따라 다르나 65~70% 수준이 적절하다(Sweeten, 1998). 또한 퇴비화시설의 운영 요인으로 분뇨투입량, 교반정도, 수분조절,

발효온도, 수분 증발량 및 최종퇴비의 품질 등을 들 수 있다.

본 시험은 가축분뇨와 톱밥을 1회적으로 혼합하여 수분을 조절하는 퇴비화하는 방법이 아니고 발효상에 톱밥을 미리 깔고 그 위에 가축분뇨를 주기적으로 살포하고 교반하고 퇴비상의 잉여수분은 여과 배출하는 톱밥여과 퇴비화 시스템이다. 본 연구에서는 고수분 슬러리 퇴비화에서 톱밥사용을 절감하면서 퇴비화 처리가 가능한 현장시스템 운영 가능성과 톱밥여과상 연속 호기성 퇴비화 시설의 퇴비화 과정 중 미기상의 변화, 물질수지, 증발량, 퇴비품질, 톱밥사용량, 퇴비화 효율을 검토하였다

재료 및 방법

1. 실험수행 농장의 현황

본 연구는 실제 축산농가에서 축산분뇨를 처리할 수 있는 실증 플랜트 규모의 처리시설에서 연구를 실시하였다. 본 연구가 수행된 축산 농가의 가축사육 현황을 보면 평균 2,000~3,000두를 사육하고 있었다. 시험수행 농가는 자돈 생산 농장이며 세척수를 다량 사용하고 있어서 배출 돈분뇨슬러리의 수분 함량이 높으며 1일 분뇨 배출량은 약 15 m³이었다. 시험은 2001년 5월부터 2001년 10월까지 6개월간 슬러리 돈사인 충청북도 진천 축산농가에서 수행되었다.

2. 배출분뇨의 성상

본 연구기간 동안 실험농장에서 발생된 퇴비원료인 돈분뇨슬러리의 수분 함량은 Fig. 1과 같다. 축산농가의 돈분뇨슬러리는 슬러리 축사의 분뇨이어서 수분 함량이 95~97.5%로 비교적 높았다.

시험에 투입된 돈분뇨슬러리의 이화학적

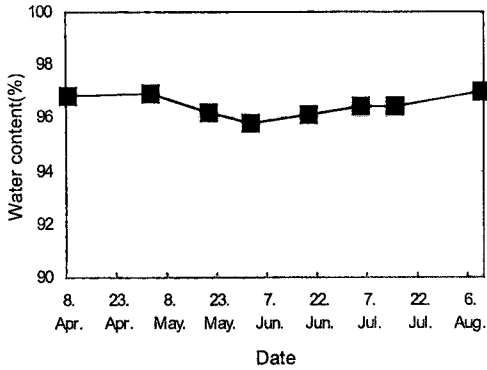


Fig. 1. Changes in water content of influent pig slurry.

성상은 Table 1과 같다. 실증 퇴비화 시설에 투입되는 분뇨의 BOD 함량은 19,000~38,000 mg/ℓ를 나타내었다.

3. 처리공정

연속 퇴비화처리 흐름도는 Fig. 2와 같이 발효조 교반시설에 설치된 축산분뇨 분배장

Table 1. Characteristics of pig slurry used in this experiment

Component	Content
BOD ₅ (mg/ℓ)	19,400 ~ 38,000
COD _{Cr} (mg/ℓ)	25,000 ~ 45,000
T-N (mg/ℓ)	2,100 ~ 2,800
NO ₃ -N (mg/ℓ)	215 ~ 234
NH ₄ -N (mg/ℓ)	3,200 ~ 5,124
T-P (mg/ℓ)	320 ~ 510
SS (mg/ℓ)	8,500 ~ 10,200
pH	6.6 ~ 7.0
Water content (%)	95.0 ~ 97.5

치에 의해 축산분뇨가 이송된다. 교반기가 발효조 용벽 위에 설치된 레일 위를 이동하면서 가축분뇨를 뿌려주고 톱밥과 축산분뇨가 잘 섞이도록 교반을 시켜준다. 톱밥에 흡착된 유기물은 호기성 미생물에 의해 분해되고 발효열에 의해서 다량의 수분이 증발되어 일정시간이 지나면 톱밥은 새로운 투입분뇨를 흡수할 능력이 갖추어져 연속사용이 가능할 수 있다.

톱밥층을 통과한 여액은 톱밥여과층을 통과하며 부착된 미생물에 의해 유기물이 분해되는 퇴비화와 여과흡착과 발효정화가 동시에 일어날 수 있는 처리방법이다.

가. 송풍 및 여과수 배출 시설

본 연구에서의 퇴비화시스템은 교반, 송풍 복합시스템으로 송풍시설의 산기관은 벌집 모양의 다공관으로 되어 있다. 산기관은 퇴비사 바닥에 3.6 m 간격으로 분리하여 다수 설치하여 공기공급 면적을 넓고 균일하게 유지하도록 하였다. 송풍은 1kw 터보 브로와 송풍기를 Ø65 pipe을 통하여 강제 공급하였다. 발효조 1개 라인에 송풍기를 1개씩 부착하여 발효장 내부에 강제로 산소를 공급함으로써 수분증발 및 발효를 촉진시키게 되어 있고 산기관 바닥을 너비 10 cm, 깊이 10 cm를 파서 산기관 유공파이프를 설치하고 산기관 파이프 상부 공간에 패화석을 넣어두어 산기관의 막힘을 방지하였다. 송풍은 연속 송풍방법으로 공기를 매일 24시간 지속적으로 공급하는 시스템으로 운영하였다. 송풍라인은 여과수 배출라인을 겸할 수 있게 설계

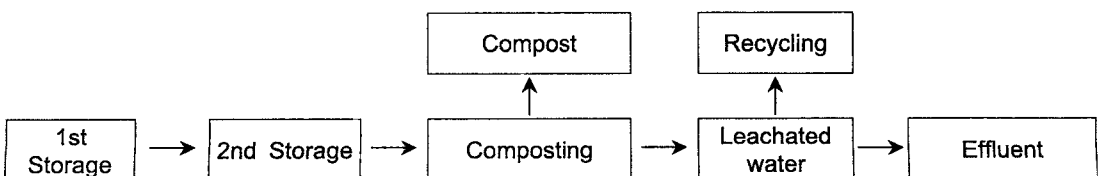


Fig. 2. The treatment flow.

하였다. 여과수 배출을 위하여 외측벽 바닥에 여과수 배출관에 밸브를 설치하였다.

나. 교반시설 및 운영

본 연구에서의 교반기는 로타리발 밑에 분뇨를 살포하는 동시에 교반을 실시하게 되어 있다. 교반은 통상 3일을 운전 주기로 하며 1일째는 분뇨투입과 동시에 교반이 이루어지고 2일째는 분뇨투입 없이 교반만 이루어지고, 3일째는 분뇨살포와 교반이 이루어지게 운영하였다. 본 시설의 경우 교반기의 로타리발을 1.5 m 높이로 높게 하여 발효조의 상하혼합이 원활하게 하였다.

다. 분뇨 살포장치

슬러리 축사의 돈분뇨슬러리는 퇴비 발효조 저장조에 자연유하식 배관 혹은 분뇨탱크 차량으로 퇴비사 저장조에 이송한다. 저장된 분뇨는 펌프에 의하여 흡입되어 이송배관을 통하여 퇴비 발효조에 살포하게 된다. 분뇨 살포장치는 혼합 교반기 전면에 부착하여 분뇨를 살포하면서 동시에 교반이 되어 분뇨와 수분조절제를 혼합시킨다. 분뇨살포 지점은 로타리발 위치에 뿌려 주도록 살포와 동시에 교반이 되도록 하였다.

라. 발효조

본 연속 퇴비 발효시스템은 발효조 높이가 2.0m로 설계하여 1.8~1.9 m 정도의 톱밥층을 퇴적할 수 있게 되어 있다. 퇴비사 체적은 발효조 길이 50 m, 폭 9 m, 높이 2 m로 총 체적이 900 m³이다. 실제 퇴비화가 이루어지는 발효조 면적은 40 m × 9 m × 2 m = 720 m³이며 실제 수분 조절제인 톱밥을 투입할 수 있는량은 650~680 m³이다.

마. 밀폐형 투명하우스

퇴비 발효조 외부구조물은 조립식 강철제로 하여 밀폐형 투명하우스로 되어 있다. 퇴비사 지붕재는 UV 코팅 PET를 사용하였다. 본 연구농장 퇴비사는 위치가 북향이어서 일사환경은 불량한 조건이었다.

4. 조사 및 분석방법

퇴비화 기간 동안 발효상 내부의 깊이별 및 시설물 내부의 온도와 상대습도는 1시간 간격으로 자동온습도 측정기를 설치하여 계측하였다. 퇴비의 pH, 수분, 유기물, 탄질비 등은 약 500 g의 시료를 채취하여 -20℃에서 냉동 보관하였다. 화학적 분석을 위한 시

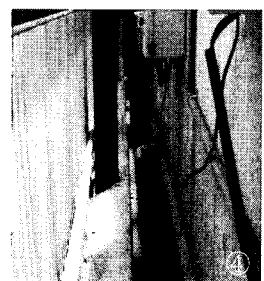
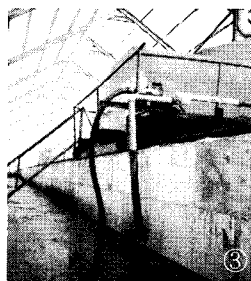
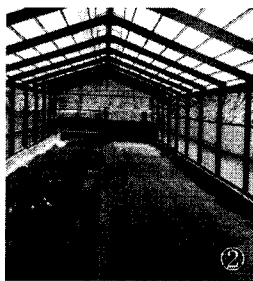
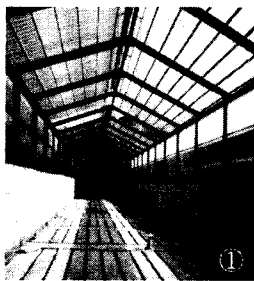


Photo 1. Drainage and ventilation facility of composting.

Photo 2. Turning machine of composting.

Photo 3. Slurry storage and sprinkling facility of composting.

Photo 4. Outlet facility of effluent slurry.

료는 60℃ dry oven에서 48시간 건조한 후 사용하였다.

각 항목의 분석방법은 폐기물 공정시험법과 Standard Method (A.P.H.A 1998)에 따라 분석하였다. pH는 ORION model 420A을 사용한 이온전극법 (Ionic electronic method), EC (Electronic Conductivity:mS)는 TOA model CM-7B를 사용하였고 질소 함량은 kjeldahl 방법으로 분석 하였다. T-N (Total Nitrogen)은 spectrophotometric method, T-P (Total Phosphates)는 Ascorbic acid method, Heterotrophic Bacteria는 Pour plate method를 사용하였다.

이온성 원소 (F⁻: Fluoride ion, NO₂⁻: Nitrite Nitrogen, NO₃⁻: Nitrate Nitrogen, PO₄⁻: Ortho-phosphates, NH₄⁺: ammoniac Nitrogen, SO₄²⁻: Sulfuric ion, Cl⁻: Chloride ion)의 분석은 IC (Dionex model: DX-120)를 사용하였으며, Standard method 4110으로 분석하였다. 미량원소의 분석은 ICP-MS (Varian model: Ultramass 700)를 사용하였으며, EPA Method 3050B의 전처리 방법과 EPA Method 200.8의 분석방법을 적용하였다. 단, Sodium은 EPA method 200.9의 분석방법을 적용하였다. 단종 다량원소 분석은 AA (Perkin Elmer model : 5100PC)를 사용하였으며, EPA Method 3050B의 전처리방법과 EPA Method 200.9의 분석방법을 적용하였다.

결과 및 고찰

1. 발효상의 온도변화

Fig. 3은 시험 기간 동안 퇴비발효조의 높이별 온도를 나타내었다. 발효초기 2주까지는 발효상의 평균온도는 상층부 50 cm에서 57.7℃, 중간부 (100 cm)에서 50.9℃, 하층부 (150 cm)에서 44.4℃로서 상층부가 가장 높고 하층부가 가장 낮았다. 상층부와 하층부의 온도차는 13.3℃를 나타내었다. 퇴비상 하층부의 온도가 낮은 것은 송풍에 의하여 차가운 공기의 유입에 의한 결과로 해석된다. 퇴비상의 온도는 발효 초기에는 다소 낮았으나 발효 3주 후 부터 상승하여 퇴비 발효상 운전 후 1개월 후 최고온도인 71℃에 도달 하였다. 곽 등 (2004)에 의하면 퇴비 발효조내 온도는 발효조내 혼합물 투입 후 4일 이상

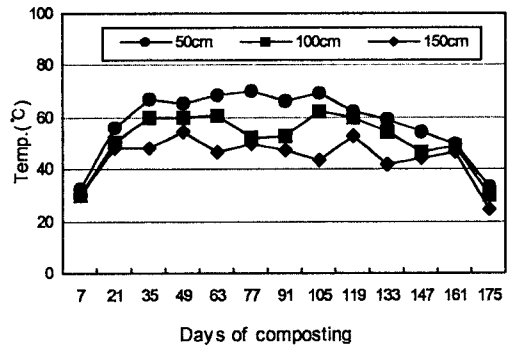


Fig. 3. The temperature of composting pile.

Table 2. Changes in the temperature(℃) after turning during composting

Hours after turning	Depth of pile		
	50 cm (upper)	100 cm (core)	150 cm (under)
Before turning	64.3	55.0	52.0
1	50.0	48.0	50.0
2	50.0	55.0	54.0
3	49.0	52.0	50.0
4	47.0	54.0	42.0
5	36.0	39.0	38.0
8	54.4	46.1	44.4
12	64.5	62.2	51.3

경과해야 발효온도가 70℃ 이상 유지되었다고 보고하였고, 박 등(2002)은 6일차에 최고 온도인 72℃에 도달하였다고 보고하였다. 일반적으로 퇴비화의 최적온도는 60℃라고 보고되었으며 (Schulz, 1982) 퇴비화 과정에서 온도상승은 미생물의 활동상태를 최적화하는 목적 이외에 병원균의 사멸 효과도 있다. 본 연구에서 발효초기 온도가 낮은 것은 톱밥층에 유기물의 충분한 공급이 이루어지지 않은 것이 원인이 된 것으로 사료된다. 또한 퇴비 발효상 운전 5개월 부터 온도가 낮아지는 경향을 나타내었다.

2. 교반 후 발효퇴비상의 온도변화

교반 후 발효상 높이별 온도변화를 조사한 결과는 Table 2와 같다. 교반에 따른 발효조 높이별 온도를 살펴보면 상층부는 교반 후 온도 저하가 나타났으나 발효상의 중간층과 하층부에서는 교반에 의하여 온도의 영향이 크게 나타나지 않았다. 교반 후 상층부의 온도변화는 교반 1시간 후 14.4℃의 온도 저하가 나타났으며 교반 8시간 이후 부터 온도가 다시 상승하였다. 이러한 결과는 온도가 낮은 분뇨가 퇴비 발효상에 살포되고, 교반에 의하여 퇴비발효상의 상하혼합에 의하여 퇴비상의 온도가 일시적으로 저하 되므로 살포 직후 온도 하강의 원인이 되지만 살포 후 시간이 지나 온도 유지가 되면 정상온도로 회복되는 것으로 사료된다. 광 등(1994)도 교반시 마다 내부온도는 급격히 하강하였으나 곧 상승하였다고 보고하였다.

3. 연속 퇴비 발효상의 실내 미기상의 변화

퇴비 발효상 내부의 온도 변화는 Fig. 4와 같다. 퇴비사 내부의 온도가 외부의 기온 보다 2~3℃ 높았다. 시험기간 동안 퇴비사 내부의 온도는 20~30℃ 내외의 범위로 온도변화가

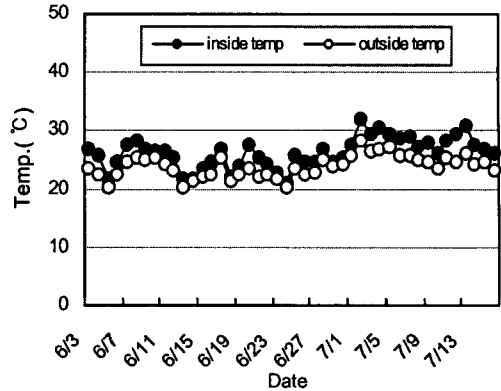


Fig. 4. Changes in air temperature and inside temperature of compost house.

크지 않았다. 온도의 변화가 적은 것은 퇴비화 시설물의 위치가 북향이기 때문에 여름철의 일사의 영향을 적게 받아 내부온도의 변화가 크게 나타나지 않았던 것으로 사료된다.

퇴비 발효상의 상대습도의 변화는 Fig. 5와 같다. 퇴비 발효상의 상대습도는 온도와 상이하게 50~99%로서 변이가 매우 심하였다. 특히 일일 평균 상대습도가 80%가 넘는 일수가 조사일수의 1/4에 달하여 퇴비사 습도 제어를 위한 배출시설 설치의 필요성이 제기되었다. 현재 우리나라에 보급되고 있는 퇴비사에는 공기를 배출하는 장치가 설치되어 있지 않고 있으므로 여름철이나 야간기간의 과습상태에서 퇴비 발효상의 증발효율을 높

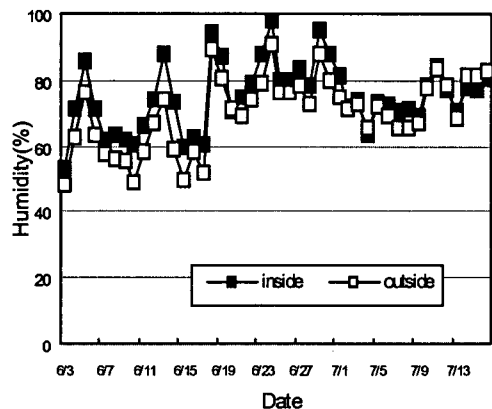


Fig. 5. Changes in relative humidity inside of compost house and air.

이기 위해서는 퇴비사 공기배출 장치의 가동이 필요할 것으로 사료된다.

4. 발효상의 수분 함량 변화

퇴비화 과정 중 퇴비발효상의 수분 함량의 변화는 Table 3와 같다. 퇴비 발효상의 수분 함량은 평균 69.1%를 유지하였다. 일반적으로 퇴비화의 적정 수분 함량을 65% 이하로 보고 있으나 본 연구의 경우 퇴비 발효상의 수분 함량이 67~73% 범위를 나타내어 퇴비화의 적정 수분 함량보다 높았다. 이러한 결과는 본 처리시스템의 투입분뇨의 유기물 함량이 낮고 슬러리 축사에서 배출되는 수분이 95~97%으로 높게 함유된 돈분뇨 슬러리를

Table 3. Changes in moisture content during composting

Date	Moisture content(%)
8 Apr.	67.0
3. May	70.0
20. May	73.0
2. Jun.	69.1
19. Jun.	67.1
5. Jul.	68.5
15. Jul.	68.5
10. Aug.	70.2

대상으로 처리시험을 하였기 때문인 것으로 사료된다. 퇴비화의 최적 함수율이 40~ 60% 범위라고 Taignides (1979)이 보고 하였으며, Sweeten (1998)는 입경에 따라 다르나 수분 함량 65~70%가 적정 수준이라고 하였다.

5. 퇴비발효 여과 침출수의 성상

퇴비단 발효상의 투입 원수와 여과 침출수의 수질을 조사하였다 (Table 4). 퇴비 발효상 침출여과액의 BOD₅는 원수의 33,200에서 침출수에서 3,500 mg/ℓ로 투입슬러리 대비 89.5% 저감되었다. COD_{Cr} 저감율이 81.2%로 BOD₅보다 다소 낮았다. 퇴비단 여과 후 COD_{Cr}의 저감효율은 BOD₅보다 낮은 것은 톱밥속의 COD 성분이 여과 과정에서 용출되었기 때문으로 사료된다.

퇴비 발효상을 거친 여과 침출수의 부유물질(SS)은 투입슬러리 대비 97.5%의 감소를 나타내어 매우 높은 저감효율을 나타내었다. 또한 T-N은 4,850에서 995 mg/ℓ로 79.5% 저감효과를 나타내었으며 효율은 다소 낮았다. 인의 저감효율은 91.3%를 나타내었다. 퇴비 발효상의 정화효율 특성은 거의 모든 수질성분의 정화효과가 있었으나 SS와 T-P 저감효율이 높았고 COD와 T-N의 제거효율은 다소 낮았다. 퇴비 발효상의 SS와 T-P 제거효율이

Table 4. Chemical properties of influent and effluent

Parameters	Items		Removal efficiency (%)
	Influent	Effluent	
BOD ₅ (mg/ℓ)	33,200	3,500	89.5
COD _{Cr} (mg/ℓ)	45,200	8,500	81.2
SS(mg/ℓ)	9,700	245	97.5
NO ₃ -N(mg/ℓ)	268	205	23.5
NH ₄ -N(mg/ℓ)	4,600	590	87.2
T-N(mg/ℓ)	4,850	995	79.5
T-P(mg/ℓ)	570	49.4	91.3
water content(%)	96.8	99.0	-
pH	6.91	8.33	-

높은 것은 퇴비 발효상에 SS와 인 성분이 침출수로 빠져나가지 않고 여과상에 잔존되어 분해소멸 처리되었기 때문인 것으로 생각된다. 박 등 (2004) 퇴비단여과 (SCB) 시설의 BOD, SS, TN, TP 제거율이 각각 99, 98, 82, 60%를 나타내어 본 연구결과 보다 BOD 제거율은 높고 TP 제거율의 낮았는데 그 원인은 퇴비화 시스템, 교반방법 및 운영방법의 차이에서 기인되는 것으로 사료된다.

6. 퇴비발효상의 수분수지

퇴비발효상의 수분수지는 투입수분총량(톱밥수분량 + 분뇨수분량)에 배출 수분총량(증발량 + 침출여액)의 차이로 나타낼 수 있다. 퇴비화기간 동안 돈분뇨슬러리 투입량은 2,340 m³이었다. 슬러리에 포함된 총수분 함량은 2,301 m³ 이었다. 퇴비화 기간 동안 발생한 침출여과액 배출량은 238 m³로 분뇨슬러리 투입량 대비 10.2%이었다. 수분수지를 토대로 하여 퇴비발효상의 수분 증발량을 산출한 결과 투입슬러리 수분량의 78.4%가 증발된 것으로 나타났다. 퇴비 발효상의 수분 증발은 유기물 분해시 발생하는 발효열과 발효를 위한 송풍, 태양광선에 의하여 증발된다. 본 연구결과에서 슬러리 퇴비화 과정 중 높은

수분 증발율을 나타낸 것은 본 연구의 퇴비화 방법이 수분조절제인 퇴비를 미리 깔고 분뇨를 주기적으로 투입하여 송풍 교반이 이루어져 수분증발량이 높아진 것으로 평가된다. 따라서 본 처리 공정은 고수분 슬러리의 퇴비화에 있어서 수분증발량을 극대화하여 수분조절제인 톱밥 소요량이 적게 소요되는 공정으로 평가된다.

7. 톱밥소요량

퇴비 발효상의 분뇨투입 대비 수분조절제인 톱밥투입량은 Table 6과 같다. 퇴비 발효상에 돈분뇨 슬러리를 3일에 1회씩 30~45 m³ 살포하여 돈분뇨 슬러리 투입 총량은 2,340 m³로 1일 평균 13.0 m³이 투입되었다. 톱밥투입량은 초기 운전전에 620 m³을 충전하였으며, 운전 1개월 후 120 m³를 보충하여 총 740 m³이었다. 따라서 시험기간 6개월 동안 톱밥 1 m³당 돈분슬러리 처리량은 3.16 m³이었다.

본 연구에서 침출여과액 배출을 제외하고 톱밥 1 m³당 돈분 슬러리 처리량이 3.16 m³으로 높은 것은 주기적인 분뇨 투입으로 수분 증발량이 높고 퇴비단여과에 의한 잉여 침출수 배출로 퇴비상의 수분조절이 이루어지고 발효상의 톱밥을 6개월간 연속적으로 수분조

Table 5. Water balance during composting

	Pig slurry Input (m ³)	Water amount of slurry (m ³)	Water balance* (m ³)	Effluent output (m ³)	Amount of evaporation** (m ³)
1 Month	880	844	217	30.2	596.8
2 Month	410	393	42	35.1	315.9
3 Month	320	307	0	38.6	268.4
4 Month	310	297	0	42.2	254.8
5 Month	250	240	0	44.7	195.3
6 Month	230	220	0	47.2	172.8
Total	2,340	2,301	259 (11.2%)	238 (10.2%)	1,804 (78.4%)

* : Water balance in compost pile (m³) = amount of water in compost pile at beginning - amount of water in compost pile at final stage

** : Water evaporation(m³) = (amount of water in pig slurry-effluent) - water balance)

Table 6. Amount of pig slurry treatment per sawdust input

Pig slurry input (m ³)	Input of sawdust (m ³)	Pig slurry treatment per sawdust (m ³ /m ³)
740	2,340	3.16

** : Pig slurry treatment per sawdust(m³/m³) = Pig slurry input ÷ sawdust input

절제로 활용하였기 때문으로 생각된다. 아울러 톱밥과 돈분 슬러리를 1회 혼합하여 발효시키는 혼합 퇴비화 방식은 발효초기에는 미생물의 서식을 위한 온도, 수분 함량이 맞지 않아 발효균이 증식되는데 일정 기간이 필요하지만 본 처리시스템의 경우 톱밥 발효상에 이미 미생물이 다량 배양되어 있는 최적상태에서 분뇨가 연속적으로 투입되어 6개월간 지속적으로 발효증발이 이루어져 톱밥투여량 대비 분뇨 처리량이 높은 것으로 생각된다. 그러나 본 처리시스템에서 투입분뇨 중 10.2%의 침출수가 발생되므로 톱밥과 분뇨를 1회 혼합에 의한 방식의 기계교반식 톱밥 발효시설에 소요되는 톱밥소요량과의 직접적인 비교는 할 수 없을 것으로 생각된다. 박 등 (2004)은 퇴비단여과 (SCB) 처리에 슬러리 톱당 0.3 m³의 톱밥이 소요되었다고 보고하였다. 오와 윤 (1997)도 로타리식 퇴비화 시스템에 의한 현장퇴비화 연구에서 퇴비 발효전 톱밥과 분뇨를 혼합하는 발효방법 보다 1회 톱밥 투여 후 연속적으로 분뇨를 투입하여 퇴비화하는 방법이 수분조절제인 톱밥을 1/3 절감 할 수 있다고 보고하였다.

8. 퇴비 성분 함량

퇴비화 시설에서 채취한 시료의 퇴비 성분을 분석한 결과는 Table 7와 같다. 퇴비의 이화학적 성분 함량은 유기물 함량이 29.1%, OM/N 비율은 46.9%를 나타내어 부산물 비료 공정 규격기준 (OM 25% 이상, OM/N 50% 이하)에 적합하였다. 중금속의 경우에도 Cu 함량이 230 mg/kg, Cr 함량이 5.4로 공정 규격기준에 적합하였다. 퇴비 중 아연함량은

Table 7. Chemical properties of final compost

Component	Content	Compost regulation
Moisture (%)	64.9	
OM (%)	29.1	< 25
T-C (%)	16.9	
T-N (%)	0.62	
C/N	27.2	
OM/N	46.9	> 50
EC (ds/m)	16.9	
P ₂ O ₅ (%)	0.75	
K ₂ O (%)	0.77	
CaO (%)	19.6	
MgO (%)	0.60	
Na ₂ O (%)	0.28	
Cd (mg/kg)	0.00	> 5
Mn (mg/kg)	188.9	
Cu (mg/kg)	230.2	> 300
Zn (mg/kg)	850.0	> 900
Cr (mg/kg)	5.42	> 300
Pb (mg/kg)	11.1	> 150
Ni (mg/kg)	5.05	> 50

공정규격에 의하면 900 mg/kg 이하로 정하고 있어 분석치 850 mg/kg은 공정규격에 적합하지만 상대적으로 높은 함량을 나타내었다.

적 요

본 연구는 고수분 돈분슬러리를 재료로 하여 톱밥여과 호기성 퇴비화 현장시설의 환경요인과 효율을 구명하기 위하여 퇴비화 과정 중 온도, 수분함량, 물질수지, 수분증발량, 침출수 발생량, 퇴비 품질을 조사하였다. 분뇨투입은 퇴비화 초기에는 매일 분뇨를 투입

하고 2~3주 이후에는 1주일에 2회씩 투입하여 처리하게 설계하였다. 본 시험에서는 발효조에 톱밥을 채우고 6개월간 지속적으로 분뇨를 발효장에 살포하고 교반하여 연속 호기성 발효 처리하는 퇴비화 방식의 농가에서 시험이 수행되었다.

1. 퇴비발효상의 온도는 상층부 57.7℃, 중층부 50.9℃, 하층부 44.4℃를 나타내어 상층부가 가장 높고 하층부가 가장 낮았다. 교반 후 3~5시간 후 부터 온도가 36~50℃로 저하되었으며 교반 8시간 후 부터 온도가 64.5℃로 상승하여 정상온도를 유지하였다. 퇴비발효상 내부 온도의 일중 변화는 크지 않는 20~30℃ 범위에 있었으나 상대습도는 50~99%로서 변화가 매우 컸다.

2. 퇴비발효상의 수분수지를 산출한 결과 총 투입수분량의 10.3%가 침출수로 배출되었고, 78.4%는 증발량으로 배출되었다. 본 호기성 퇴비화 시설은 수분 증발량이 높아 침출수 배출량을 제외하고 톱밥 1m³당 3.16m³의 슬러리 처리가 가능하여 수분조절제인 톱밥의 절감효과가 있었다.

3. 퇴비발효상 여과 침출액의 수질은 투입 슬러리 대비 BOD는 89.5%, CODcr는 81.2%, SS는 97.5% 저감되었다.

4. 최종 퇴비의 품질은 유기물은 29.1%, OM/N의 비율은 46.9%이었으며 중금속 함량은 비료공정규격 기준에 적합하였다.

인 용 문 헌

1. 광완섭, 김태규, 김창원. 1994. 계분의 콤포스터 처리 시 내부온도 조절이 생산물의 물리·화학적 성상에 미치는 영향. 한국유기성 폐기물 자원화. 2(2):39-51.
2. 광정훈, 최동운, 박치호, 정광화, 김재환, 강희설, 양창범, 라창식. 2004. 기계교반 퇴비화시설에서의 구간별 발효온도에 따른 수분 증발량 및 특성 변화 연구. 10(3):163-168
3. 김태일, 정광화, 광정훈, 전병수, 박치호. 1996. 돈분퇴비 발효과정 중 산소소모율이 퇴비부숙도에 미치는 영향. 농업과학 논문. 38(2):632-636.
4. 박치호, 윤태한, 류종원, 김재환, 최태범, 최동운, 광정훈, 정광화, 김형호. 2002. 양돈 슬러리 퇴비화 방법의 수분증발을 및 경제성 분석에 관한 연구. 축산시설환경학회지 8(2):119-124.
5. 박치호, 최동운, 광정훈, 정광화, 김태일, 송준익, 윤태한. 2004. 가축분뇨 고효율 처리기술 개발. 축산연구소 보고서.
6. 오인환, 윤종만. 1997. 가축분뇨의 로타리 교반 발효건조 기술분석. 한국농업기계학회지. 22(4):451-458.
7. 한정대, 박치호. 2000. 돈 슬러리 혐, 호기발효 증발시스템 실용성 확립. 농촌진흥청, 축산기술연구소.
8. Bagstam, G. 1979. Population changes in microorganisms during composting of spruce bark. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 6:279-288.
9. Iannotti, D. L. P., Pang, B. L., Elwell, D. L., Keener, H. M. and Hoitink, H. A. J. 1993. A quantitative respirometric method for monitoring compost stability. Compost Science & Utilization 1(3):52-65.
10. Lichard, T. L. and Choi, H. L. 1997. Optimizing the composting process for moisture removal. Korean J. Anim. Sci. 39(4):445-456.
11. Schulze, K. L. 1962. Continuous thermophilic composting. Appl. Microbiol. 10:108-122.
12. Sweeten, J. M. 1988. Composting manure and sludge. p. 38-44. In proceedings of the national poultry waste management symposium. Ohio State University, Columbus, Ohio. 18-19. April.
13. Taiganides, E. P. 1977. Composting of feedlot wastes. In: Animal Wastes. pp. 241-251. Applied Science Publishers LTD, London.